

赵忠尧博士后申请报告

申请人：曹宁

进站单位：中国科学院高能物理研究所

博士后合作导师：沈肖雁 研究员

2021-6-5

目录

- 个人简历
- 研究背景
- 既往工作情况及成果
- 未来工作计划



• 教育经历

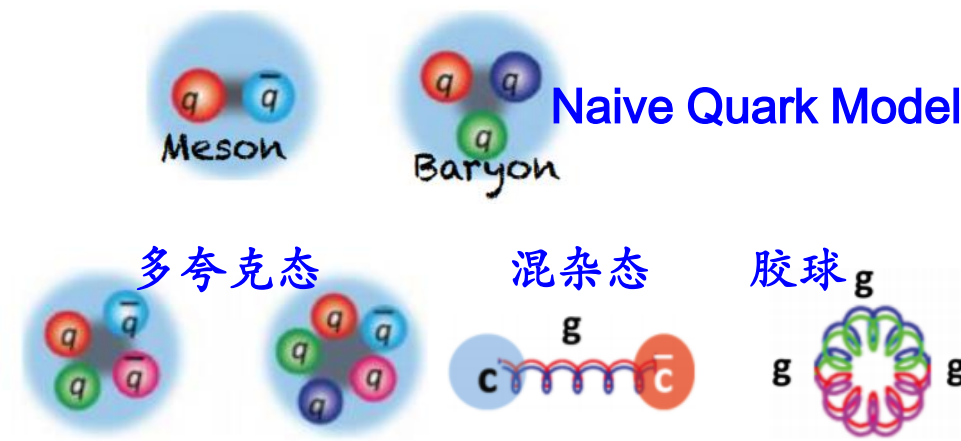
时间	院校	学位	导师及职位
2016.09~2021.06	中国科学院大学 中国科学院高能物理研究所	理学博士	沈肖雁 研究员 刘北江 研究员
2012.09~2016.06	西安交通大学	工学学士	

• 研究领域

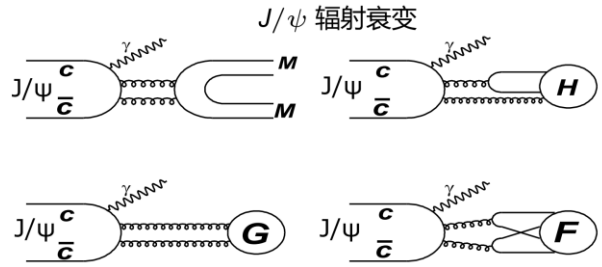
- BESIII轻强子谱学及分波分析

研究背景

- 夸克模型：介子 $q\bar{q}$ ，重子 qqq
- QCD预言了奇特强子态的存在
 - 胶球 $gg, ggg \dots$
 - 混杂态 $q\bar{q}g, qq\bar{q}g \dots$
 - 多夸克态
- 格点QCD预言最轻的胶球具有以下量子数^[1,2]
 - 0^{++} (1.5~1.7 GeV) (第一激发态~2.1 GeV), J/ψ 辐射衰变中的产额 $3.8(9) \times 10^{-3}$ ^[3]
 - 2^{++} (2.3~2.4 GeV), J/ψ 辐射衰变中的产额 $1.1(2)(1) \times 10^{-2}$ ^[4]
 - 0^{-+} (2.3~2.6 GeV), J/ψ 辐射衰变中的产额 $2.31(80) \times 10^{-4}$ ^[5]
- 这些胶球具有常规量子数，与普通介子可能发生混合
 - 胶球的寻找和鉴别需要系统的研究
- J/ψ 辐射衰变是丰胶子过程，胶球预期产额较大
 - 寻找胶球的理想场所
- BESIII 实验积累了世界上最大的 J/ψ 样本，通过 J/ψ 辐射衰变寻找胶球具有天然优势
- 分波分析是强子谱研究的重要工具



[1] Phys.Rev.D 73 (2006) 014516
 [2] Int.J.Mod.Phys.E 18 (2009)
 [3] Phys.Rev.Lett. 110 (2013) 2, 021601
 [4] Phys.Rev.Lett. 111 (2013) 9, 091601
 [5] Phys.Rev.D 100 (2019) 5, 054511



• 胶球的实验现状

• 标量胶球

- BESIII $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\eta$ ^[1], $J/\psi \rightarrow \gamma K_S K_S$ ^[2] 分析表明
 - $f_0(1710)$ 产额较 $f_0(1500)$ 大一个量级
 - $f_0(1710)$ 在 J/ψ 辐射衰变中的总产额 $> 1.7 \times 10^{-3}$, 接近理论对标量胶球的预言
 - $f_0(1710)$ 可能具有更多胶子成分
- $f_0(2100)$ 、 $f_0(2200)$ 分别在 $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\eta$ 、 $J/\psi \rightarrow \gamma K_S K_S$ 中均有很大产额
- $J/\psi \rightarrow \gamma\pi^0\pi^0$ ^[3] 在 2.1 GeV 附近也存在较大的标量贡献

• 张量胶球

- $p\bar{p} \rightarrow \phi\phi$ ^[4] 发现 2.35 GeV 附近可能存在一个张量结构
- $\pi^- p \rightarrow \phi\phi n$ ^[5] 在 $\phi\phi$ 质量谱上发现了 $f_2(2340)$
- $J/\psi \rightarrow \gamma\phi\phi$ ^[6] 和 $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\eta$ 中也观测到 $f_2(2340)$ 较大的产额
- $f_2(2340)$ 在 J/ψ 辐射衰变中的总产额低于理论预期, 需要寻找更多衰变模式

• 赝标量胶球

- BESIII 在 $J/\psi \rightarrow \gamma\pi^+\pi^-\eta'$ ^[7], $\gamma K\bar{K}\eta'$ ^[8] 过程中均观测到了 $X(2370)$, 显著性分别为 6.4σ 、 8.3σ , 测得质量与格点QCD预言的范围一致

[1] Phys.Rev.D 87 (2013) 9, 092009

[2] Phys.Rev.D 98 (2018) 7, 072003

[3] Phys.Rev.D 92 (2015) 5, 052003

[4] Phys.Lett.B 432 (1998) 436

[5] Phys.Lett.B 165 (1985) 217

[6] Phys.Rev.D 93 (2016) 11, 112011

[7] Phys.Rev.Lett. 106 (2011) 072002

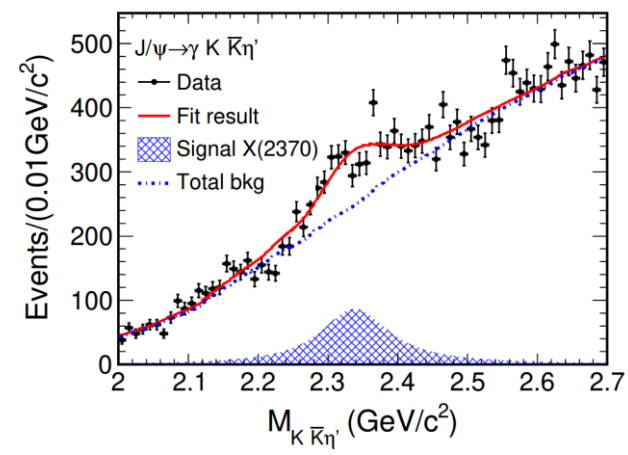
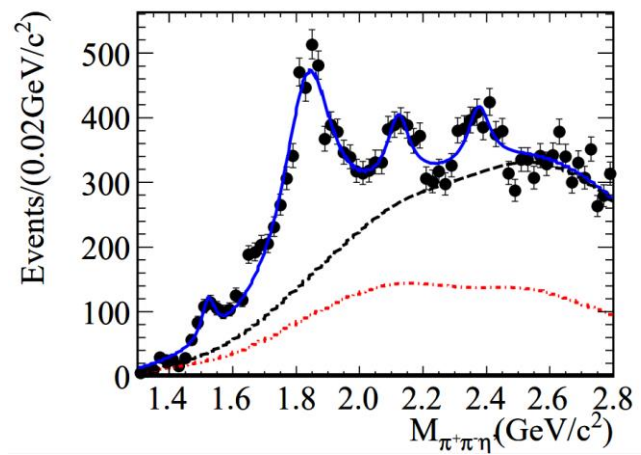
[8] Eur.Phys.J.C 80 (2020) 8, 746

- 已完成的主要工作
 1. BESIII $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\eta\eta'$ 分析
 2. BESIII $J/\psi \rightarrow \gamma\eta'\eta'$ 分波分析
 3. 其它工作

既往工作情况及成果

1. BESIII $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\eta\eta'$ 分析

- BESIII 在 $J/\psi \rightarrow \gamma\pi^+\pi^-\eta'^{[1]}$, $\gamma K\bar{K}\eta'^{[2]}$ 过程中均观测到了 $X(2370)$ ，如右所示，显著性分别为 6.4σ 、 8.3σ
- 理论预言若赝标量胶球质量为 2.37GeV ，则其衰变到 $\eta\eta\eta'$ ， $KK\eta'$ ， $\pi\pi\eta'$ 分支比的预期值为 $0.00082, 0.011, 0.090^{[3]}$
- 通过 $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\eta\eta'$ 寻找 $X(2370)$ ，有助于理解其性质
- 利用 BESIII $1.3 \times 10^9 J/\psi$ 数据，对 $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\eta\eta'$ 进行了研究，其中对 η' 考虑 $\eta' \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ 和 $\eta' \rightarrow \gamma\pi^+\pi^-$ 两种衰变模式



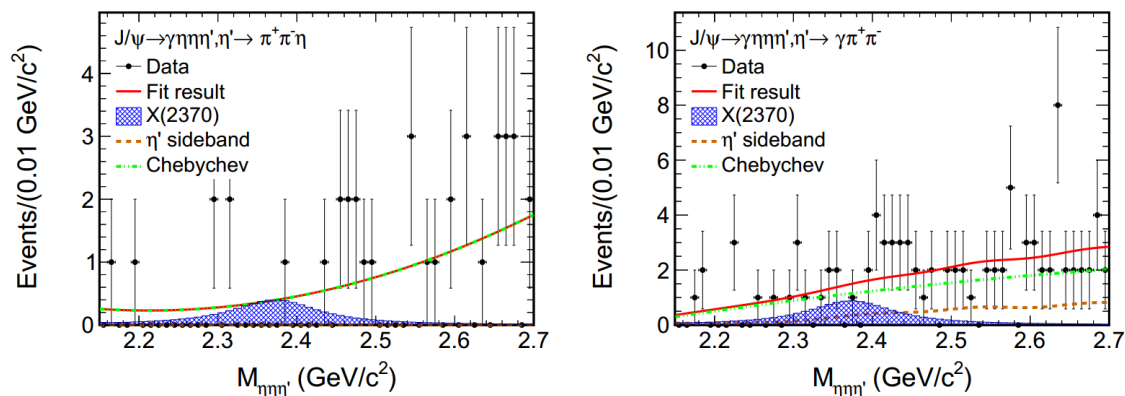
[1] Phys.Rev.Lett. 106 (2011) 072002
 [2] Eur.Phys.J.C 80 (2020) 8, 746
 [3] Phys.Rev.D 87 (2013) 5, 054036

既往工作情况及成果

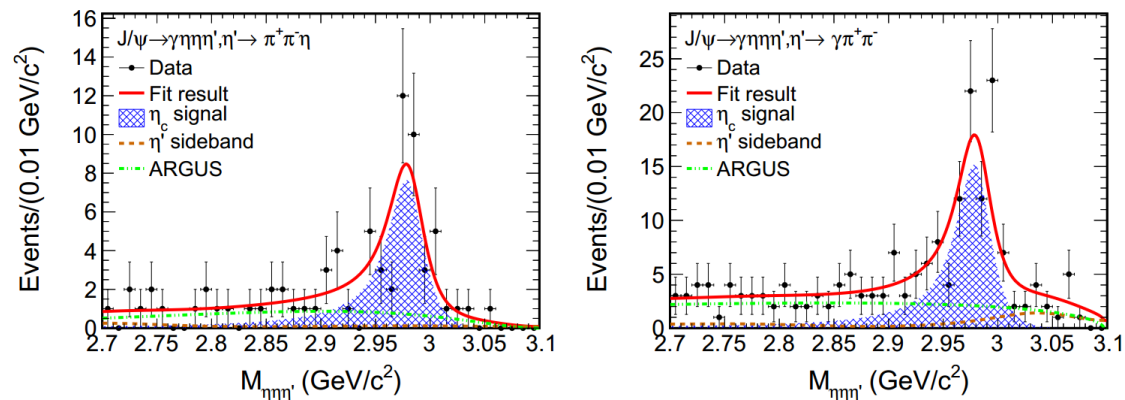
1. BESIII $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\eta\eta'$ 分析

- $\eta\eta\eta'$ 质量谱上没有观察到明显的 $X(2370)$ ，发现了 η_c
 - 联合拟合给出 $X(2370)$ 联合分支比上限 $< 9.2 \times 10^{-6}$ ，与理论预言不矛盾
 - 首次测量了 $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c \rightarrow \gamma\eta\eta\eta'$ 的联合分支比为 $(4.86 \pm 0.62(\text{stat.}) \pm 0.45(\text{sys.})) \times 10^{-5}$ (显著性 8.1σ)，与理论预期^[1]相符
- 文章发表在 [Phys.Rev.D 103 \(2021\) 1, 012009](https://arxiv.org/abs/2010.11111)

$J/\psi \rightarrow \gamma X(2370), X(2370) \rightarrow \eta\eta\eta'$ 分支比上限测量拟合结果



$J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c, \eta_c \rightarrow \eta\eta\eta'$ 分支比测量拟合结果

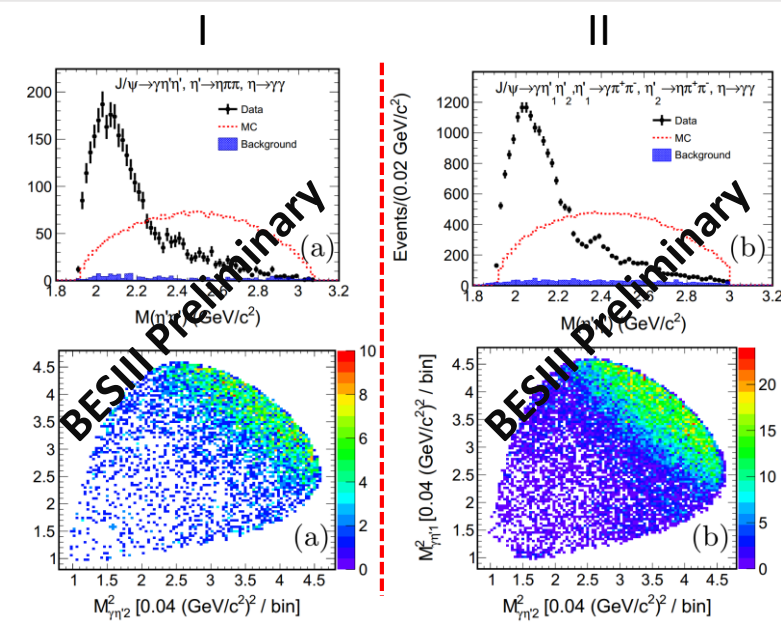


[1] Eur.Phys.J.A 54 (2018) 8, 139

既往工作情况及成果

2. BESIII $J/\psi \rightarrow \gamma\eta'\eta'$ 分波分析

- 利用BESIII 实验积累的约100亿 J/ψ 数据，首次对 $J/\psi \rightarrow \gamma\eta'\eta'$ 衰变过程进行了研究
- 其中考虑了两种衰变模式
 - I. $J/\psi \rightarrow \gamma\eta'\eta', \eta' \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$
 - II. $J/\psi \rightarrow \gamma\eta'_{(1)}\eta'_{(2)}, \eta'_{(1)} \rightarrow \gamma\pi^+\pi^-, \eta'_{(2)} \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$
- 为精确测量共振态的自旋宇称、质量宽度及衰变分支比，基于 GPUPWA^[1] 软件包进行分波分析

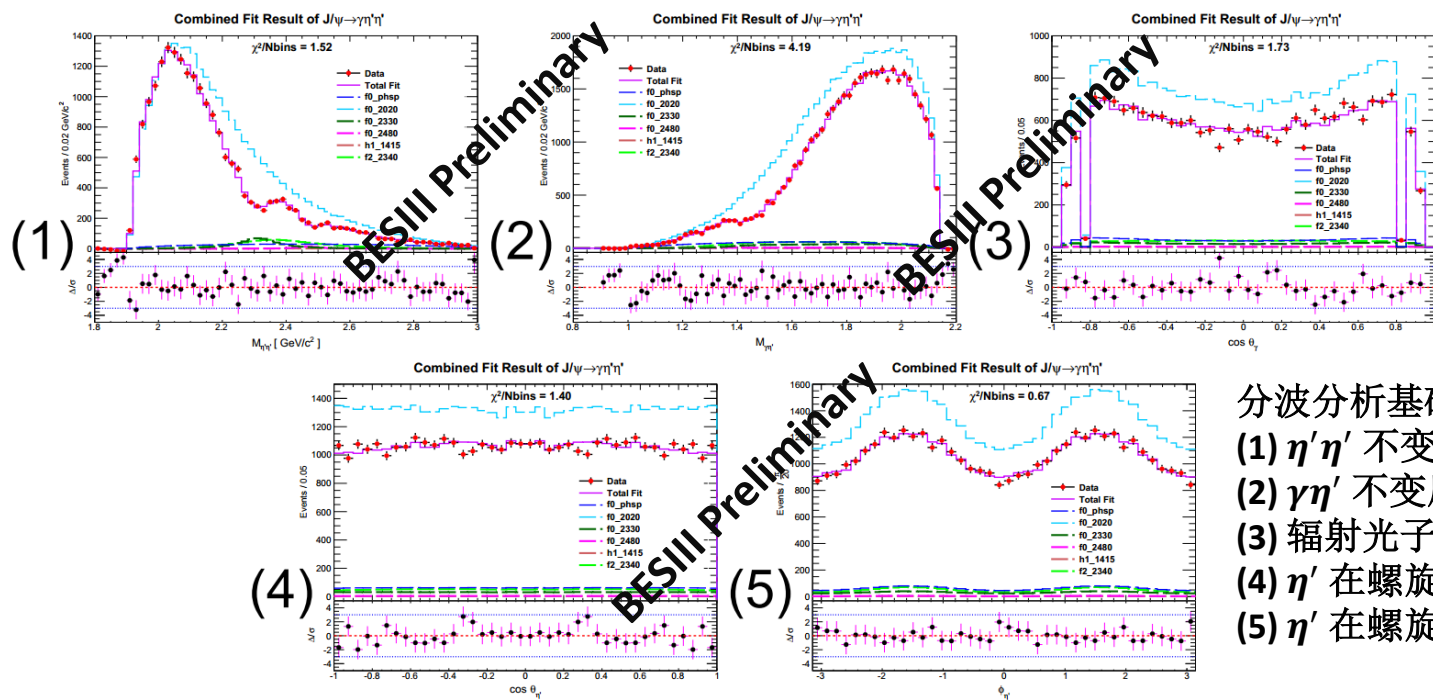


[1] J.Phys.Conf.Ser. 219 (2010) 042031

2. BESIII $J/\psi \rightarrow \gamma\eta'\eta'$ 分波分析

- 对这两种衰变模式进行了分波分析联合拟合，首次在 $\eta'\eta'$ 衰变模式中发现了 $f_2(2340)$ 及 2.1 GeV 附近的标量共振态 $f_0(2020)$
 - $f_0(2020)$ 产额较大，可能含有更多胶子成分
 - $f_2(2340)$ 质量与格点QCD对张量胶球的预言一致

分波解成分	$M(\text{MeV}/c^2)$	$\Gamma(\text{MeV}/c^2)$	显著性
$f_0(2020)$	$1982 \pm 3^{+54}_{-0}$	$436 \pm 4^{+46}_{-49}$	$\gg 25\sigma$
$f_2(2340)$	$2346 \pm 8^{+22}_{-6}$	$332 \pm 14^{+26}_{-12}$	16.1σ



此分析已进入BESIII合作组 Draft 审核阶段

分波分析基础解拟合结果在

- $\eta'\eta'$ 不变质量谱，
- $\gamma\eta'$ 不变质量谱，
- 辐射光子的极角 θ 分布，
- η' 在螺旋度坐标系中的极角 θ 分布，
- η' 在螺旋度坐标系中的方位角 ϕ 分布上的投影图

3. 其它工作

- 协助完善和维护 BESIII GPUPWA 及计算平台
- 协助国家重点研发计划“高性能计算”重点专项“面向高能物理领域科学发现的高性能应用软件系统研制”项目进行分波分析软件的测试工作
 - GPUPWA 和格点 QCD 是该项目的重要示范应用，协助 GPUPWA 在不同高性能计算平台上进行部署及性能测试

• BESIII 实验

1. 推动 $J/\psi \rightarrow \gamma\eta'\eta'$ 分波分析文章发表
2. $J/\psi \rightarrow \gamma\pi^0\pi^0\pi^0$ 分波分析
 - 检验 $\eta(1295)$ 是否存在
 - 考虑三角奇异性^[1,2], 研究 $\eta(1405)/\eta(1475)$
3. $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\pi^0\pi^0$ 分波分析
 - 检验 $\eta(1295)$ 是否存在
 - 寻找 $X(1835)$, $X(2370)$

[1] Phys.Rev.Lett. 108 (2012) 081803

[2] Phys.Rev.D 87 (2013) 1, 014023

• PANDA 实验

1. 量能器模拟方面的软件工作

谢谢各位评委